低聚壳聚糖对母猪繁殖性能、泌乳性能和血浆生化指标的影响

刘莹莹[1,2]　张　星[1,2]　任慧波[1,2,3]　罗　璇[1,2]　袁旭鹏[4]　邓　缘[1,2,3]　彭英林[1,2,3*]

（1.湖南省畜牧兽医研究所，长沙 410131；2.湖南生猪产业技术体系，长沙 410131；3.湖南省畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128；4.湖南鑫广安农牧股份有限公司，长沙，410129）

摘　要：本试验旨在探讨饲粮中添加低聚壳聚糖对母猪繁殖性能、泌乳性能和血浆生化指标的影响。选择24头胎次、体重和预产期相近的健康大白猪母猪，随机分为3个组，每组8个重复，每个重复1头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验Ⅰ组和Ⅱ组饲粮在基础饲粮中分别添加50和100 g/t的低聚壳聚糖。试验从母猪妊娠第85天时开始，至分娩后第21天时结束。结果表明：1）与对照组相比，饲粮中添加低聚壳聚糖可显著增加母猪的健仔数和哺乳期平均日采食量（P<0.05），显著降低母猪的产程（P<0.05），且在一定程度上可改善母猪的便秘和降低母猪的背膘厚损失；与对照组相比，试验Ⅰ组仔猪的初生窝重显著增加（P<0.05），试验Ⅱ组母猪的哺乳期泌乳量显著增加（P<0.05）。2）与对照组相比，试验Ⅰ组和Ⅱ组母猪初乳中乳脂肪含量显著增加（P<0.05），试验Ⅰ组初乳中尿素氮（UN）含量和常乳中精氨酸、总氨基酸、限制性氨基酸含量显著增加（P<0.05）。3）试验Ⅰ组和Ⅱ组母猪的血浆谷丙转氨酶（GPT）活性显著低于对照组（P<0.05），各组的血浆碱性磷酸酶（ALP）、乳酸脱氢酶（LDH）活性和总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、UN、甘油三酯（TG）、总胆固醇（CHO）、高密度脂蛋白（HDL）、低密度脂蛋白（LDL）含量均无显著差异（P>0.05）。由此可见，饲粮中添加低聚壳聚糖对母猪的繁殖性能和泌乳性能均有一定的促进作用。综合本研究结果，50 g/t低聚壳聚糖为母猪饲粮中的最佳添加剂量。

关键词：低聚壳聚糖；母猪；繁殖性能；泌乳性能；血浆生化指标

中图分类号：S828

母猪是猪场的核心和基础，其繁殖性能是集约化猪场生产成绩的一个关键指标。繁殖母

收稿日期：2017–05–16

基金项目：国家自然科学基金项目（31601954）；国家 863 项目（2013AA102503）；湖南省重点研发计划（2016NK2196）

作者简介：刘莹莹（1982—），女，湖南邵阳人，助理研究员，博士，从事动物营养调控研究。E-mail: hunaulyy_2006@126.com

*通信作者：彭英林，研究员，博士生导师，E-mail: 13907487646@126.com

猪的健康水平直接决定仔猪和育肥猪的健康状况，其生产水平和繁殖性能也直接决定着猪场的生产效益。研究表明，妊娠期动物机体的代谢途径与非妊娠期有所不同，这种差异随妊娠期的延长表现更为明显；妊娠后期，胎儿的迅速发育对氧气与养分的需求迅速增加，给母体造成严重的代谢负担[1]，更易导致氧化应激[2]；而代谢产生的自由基可损伤胎盘绒毛，导致绒毛细胞膜、线粒体膜和胎盘功能异常，影响胎儿在子宫内的发育，还会造成母猪泌乳性能和机体免疫功能的下降，严重影响母猪自身健康、利用年限及其子代的发育[3]。因此，增强妊娠后期母猪机体的免疫力对繁殖母猪意义十分重大。

低聚壳聚糖是通过酶、化学或物理方法降解得到的壳聚糖的统称。由于低聚壳聚糖聚合度较低，相对分子质量较小，因而其具备了大分子壳聚糖不具备的一些生理及药理活性，其药理活性是同等重量壳聚糖的 14 倍[4]。聚合度在 2～10、可溶于水的低聚壳聚糖称为壳寡糖[5]；聚合度在 20 以上、不易溶于水的低聚壳聚糖称为低分子量壳聚糖。研究表明，作为一种新型饲料添加剂，低聚壳聚糖具有降血脂、抗氧化、抗菌、提高机体免疫力和改善肠道健康等生理活性[6-8]。目前，关于低聚壳聚糖的应用研究主要集中在对幼龄畜禽生长性能和免疫功能[9]、脂类代谢[10-11]、抗氧化[11-12]、肌肉发育[13-14]等方面的影响，而有关低聚壳聚糖在母猪饲粮中应用的研究报道却极少。本试验通过在妊娠后期母猪饲粮中添加低聚壳聚糖，研究其对母猪繁殖性能、泌乳性能及血浆生化指标的影响，为其在母猪饲粮中的合理应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

低聚壳聚糖由嘉兴科瑞生物科技有限公司生产，平均相对分子质量为2.5×10^4，脱乙酰度>85%，纯度>95%，粒径约20 μm。

1.2　试验动物与试验设计

选择24头胎次、体重和预产期相近的健康大白猪母猪，随机分为3个组，每组8个重复，每个重复1头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验Ⅰ组和Ⅱ组饲粮在基础饲粮中分别添加50和100 g/t的低聚壳聚糖。试验从母猪妊娠第85天时开始，至分娩后第21天（仔猪断奶）时结束。

1.3　试验饲粮

试验母猪从妊娠第85天时开始饲喂哺乳料，基础饲粮参照NRC（2012）推荐的营养需

要量并结合试验猪场实际情况进行配制，其组成及营养水平见表1。饲粮于试验开始前1周制成颗粒料，以保持新鲜。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels[2)]	含量 Content
玉米 Corn	57.0	消化能 DE/(MJ/kg)	13.81
豆粕 Soybean meal	15.0	粗蛋白质 CP	17.70
麦麸 Wheat bran	8.0	钙 Ca	0.85
膨化大豆 Extruded soybean	10.0	总磷 TP	0.63
进口鱼粉 Fish meal	2.5	有效磷 AP	0.40
油粉 Oil meal	2.5	总赖氨酸 T-Lys	1.12
葡萄糖 Glucose	1.0	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.61
预混料 Premix[1)]	4.0	总苏氨酸 T-Thr	0.85
合计 Total	100.0	总色氨酸 T-Trp	0.20
		总缬氨酸 T-Val	0.84

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet：Fe 80 mg，Mn 45 mg，Zn 100 mg，Cu 20 mg，I 0.70 mg，Se 0.25 mg，VA 10 000 IU，VD_3 2 500 IU，VE 100 IU，VK_3 10 IU，VB_1 4 mg，VB_2 10 mg，VB_6 1 mg，VB_{12} 50 μg，烟酸 nicotinic acid 42.9 mg，泛酸 pantothenic acid 21.6 mg，生物素 biotin 80 μg，叶酸 folic acid 5 mg，氯化胆碱 choline chloride 1 500 mg。

[2)]营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

1.4　饲养管理

试验在湖南鑫广安农牧股份有限公司路口原种猪场进行，严格按照猪场防疫和饲养管理制度进行操作。每天 07:30 及 15:00 各饲喂 1 次，自由饮水。每天清扫猪舍 2 次，每隔 3 d 用消毒水喷雾消毒栏舍周围。各组饲养管理和环境条件一致。

1.5　样品采集与指标测定

粪便：持续观察妊娠后期母猪的排便情况。粪便变化情况用颜色、形状与含水量进行评

判，具体方法如下：1）颜色用黑、褐、黄色描述；2）形状与含水量用硬（水分较少）、正常（成形、水分适中）、软（不成形但成堆、水分偏高）、稀（不成形不成堆、水分过高）描述。

背膘厚：分别于母猪妊娠第110天和分娩后第21天时，采用背膘眼肌测定仪（MyLab Touch VET兽用B超仪）测量母猪的背膘厚，计算分娩前后母猪的背膘厚损失。

繁殖性能：每天记录每头母猪的采食量。记录母猪的总产仔数、健仔数和产程（首个仔猪产出到胎盘排出的时间间隔），称量仔猪初生窝重，7、14和21日龄窝重。

泌乳量：按仔猪每增重1 kg约需要猪乳3 kg计算，根据21日龄仔猪窝重来推算母猪的泌乳量，计算公式如下：

母猪泌乳量=（21日龄仔猪窝重–仔猪初生窝重）×3。

乳成分：分娩当天采集母猪初乳10 mL，分娩后第10天采集常乳10 mL。采用乳成分测定仪（MilkoScan^{TM} FT^{+}，丹麦FOSS福斯公司）检测猪乳中常规营养成分[乳脂肪、乳蛋白、乳糖、尿素氮（UN）、去脂干物质、总干物质]含量。采用L-8800型全自动氨基酸分析仪（L-8800，日本日立公司）测定猪乳中氨基酸含量[15]。

血浆生化指标：于母猪分娩后第21天时，前腔静脉采血10 mL加肝素钠，轻轻混匀，室温静置30 min后离心收集血浆。采用7060全自动生化分析仪（日本日立公司）检测血浆中的谷丙转氨酶（GPT）、谷草转氨酶（GOT）、碱性磷酸酶（ALP）、α淀粉酶（α-AMY）、乳酸脱氢酶（LDH）活性和总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、UN、葡萄糖（GLU）、甘油三酯（TG）、总胆固醇（CHO）、高密度脂蛋白（HDL）、低密度脂蛋白（LDL）含量。所用生化指标测定试剂盒均购自北京利德曼生化股份有限公司。

1.6　数据处理与分析

试验数据用Excel 2010进行初步处理后，采用SAS 9.1（SAS Institute Inc）软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），差异显著者进行Duncan氏法多重比较。结果以平均值±标准误表示，$P<0.05$表示差异显著。

2　结　果

2.1　低聚壳聚糖对母猪粪便和背膘厚的影响

由表2可知，妊娠后期对照组母猪有便秘现象，而饲粮中添加低聚壳聚糖可以改善妊娠

后期母猪粪便稍硬、含水量较少的情况。

表2　低聚壳聚糖对母猪粪便的影响

Table 2　Effects of oligo-chitosan on feces of sows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Experimental group Ⅰ	试验Ⅱ组 Experimental group Ⅱ
颜色 Color	偏黑	褐色	褐色
形状 Shape	稍硬	正常	正常
含水量 Moisture content	较少	适中	适中

由表3可知，各组母猪妊娠第110天和分娩后第21天时的背膘厚无显著差异（P>0.05），但试验Ⅰ组和Ⅱ组的背膘厚损失低于对照组（P>0.05）。

表3　低聚壳聚糖对母猪背膘厚的影响

Table 3　Effects of oligo-chitosan on backfat thickness of sows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Experimental group Ⅰ	试验Ⅱ组 Experimental group Ⅱ	P 值 P-value
妊娠第 110 天 The 110th day of pregnancy/mm	16.54±0.66	17.18±1.36	16.78±0.80	0.90
分娩后第 21 天 The 21st day after delivery/mm	15.42±0.62	16.16±1.22	15.95±0.76	0.84
背膘厚损失 Backfat thickness loss/mm	1.12±0.35	1.01±0.23	0.83±0.21	0.74

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著（P>0.05），不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2　低聚壳聚糖对母猪繁殖性能的影响

由表4可知，各组母猪的总产仔数无显著差异（P>0.05）。试验Ⅰ组和Ⅱ组的健仔数显著

高于对照组（P<0.05），试验Ⅰ组的健仔数显著高于试验Ⅱ组（P<0.05）。试验Ⅰ组和Ⅱ组的产程显著低于对照组（P<0.05）。试验Ⅰ组和Ⅱ组的母猪哺乳期平均日采食量显著高于对照组（P<0.05）。与对照组相比，试验Ⅰ组仔猪的初生窝重显著增加（P<0.05），7日龄窝重有增加趋势（0.05≤P<0.10）；试验Ⅱ组母猪的哺乳期泌乳量显著增加（P<0.05）。

表4　低聚壳聚糖对母猪繁殖性能的影响

Table 4　Effects of oligo-chitosan on reproduction performance of sows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Experimental group Ⅰ	试验Ⅱ组 Experimental group Ⅱ	P 值 P-value
总产仔数 Total piglets born per litter/头	10.57±1.31	12.86±0.59	11.00±0.94	0.26
健仔数 Healthy piglets per litter/头	$8.29±0.52^{c}$	$12.14±0.34^{a}$	$10.13±0.44^{b}$	<0.01
产程 Born process time/h	$4.07±0.17^{a}$	$3.50±0.21^{b}$	$3.35±0.15^{b}$	0.02
母猪妊娠后期平均日采食量 ADFI of later pregnancy sows/kg	2.27±0.03	2.35±0.04	2.38±0.04	0.12
母猪哺乳期平均日采食量 ADFI of lactation sows/kg	$3.81±0.03^{b}$	$4.29±0.02^{a}$	$4.34±0.02^{a}$	<0.01
初生窝重 Birth litter weight/kg	$13.42±1.06^{b}$	$18.45±0.88^{a}$	$15.29±1.01^{b}$	<0.01
7 日龄窝重 Litter weight at 7 days of age/kg	26.54±0.35	30.81±1.35	27.65±1.65	0.08
1~7 日龄平均日增重 ADG from 1 to 7 days of age/g	147.56±14.55	197.98±5.27	177.80±17.17	0.06
14 日龄窝重 Litter weight at 14 days of age/kg	39.79±2.12	47.03±2.15	42.55±2.47	0.11
8~14 日龄平均日增重 ADG from 8 to 14 days of age/g	196.00±14.98	225.15±27.09	213.75±16.63	0.61
21 日龄窝重 Litter weight at 21 days of age/kg	52.11±3.57	59.27±2.94	59.10±4.49	0.35
15~21 日龄平均日增重 ADG from 15 to 21 days of age/g	182.45±18.64	193.10±18.94	245.37±18.86	0.06
哺乳期泌乳量 Total milk yield during lactation/kg	$116.09±3.16^{b}$	$122.46±2.95^{b}$	$131.43±1.98^{a}$	<0.01

平均日泌乳量 Average daily milk yield/kg	5.53±0.71	5.83±0.54	6.26±0.36	0.21
料乳比 Ratio of feed to milk	0.72±0.05	0.76±0.06	0.73±0.06	0.88

2.3 低聚壳聚糖对母猪乳成分的影响

由表5可知，试验Ⅰ组和Ⅱ组母猪初乳中乳脂肪含量显著高于对照组（P<0.05）；试验Ⅰ组初乳中UN含量显著高于对照组和试验Ⅱ组（P<0.05）。各组母猪常乳中常规营养成分含量无显著差异（P>0.05）。

表5 低聚壳聚糖对母猪乳汁中常规营养成分的影响

Table 5 Effects of oligo-chitosan on conventional nutrient component sof milk of sows %

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Experimental group Ⅰ	试验Ⅱ组 Experimental group Ⅱ	*P* 值 *P*-value
初乳 Colostrum				
乳脂肪 Milk fat	4.11±0.17[b]	5.53±0.31[a]	5.16±0.25[a]	<0.01
乳蛋白 Milk protein	17.56±0.54	17.47±0.43	16.65±0.52	0.38
乳糖 Lactose	4.14±0.23	3.86±0.19	4.04±0.13	0.57
尿素氮 UN/(mg/dL)	71.82±1.93[b]	78.07±3.06[a]	69.63±0.89[b]	0.03
脱脂干物质 Defatted dry matter	25.49±0.69	25.16±0.75	24.48±0.55	0.54
总干物质 Total dry matter	32.68±0.71	34.02±0.51	33.01±0.53	0.28
常乳 Milk				
乳脂肪 Milk fat	7.94±0.28	8.44±0.34	8.13±0.31	0.55
乳蛋白 Milk protein	6.24±0.17	6.70±0.06	6.41±0.19	0.14
乳糖 Lactose	6.57±0.12	6.61±0.22	6.71±0.12	0.80
尿素氮 UN/(mg/dL)	59.71±1.40	59.29±1.19	59.25±1.96	0.97
脱脂干物质 Defatted dry matter	16.41±0.17	16.93±0.20	16.73±0.24	0.25
总干物质 Total dry matter	28.35±0.58	29.36±0.34	28.84±0.50	0.37

由表6可知，各组母猪初乳中氨基酸含量无显著差异（P>0.05）。与对照组相比，试验Ⅰ组常乳中苏氨酸含量有增加趋势（0.05≤P<0.10）；试验Ⅰ组常乳中亮氨酸、组氨酸和脯氨酸含量显著高于试验Ⅱ组（P<0.05）；试验Ⅰ组常乳中精氨酸、总氨基酸和限制性氨基酸含

量显著高于对照组和试验Ⅱ组（*P*<0.05）。

表6　低聚壳聚糖对母猪乳汁中氨基酸含量的影响

Table 6　Effects of oligo-chitosan on the contents of amino acids of milk of sows　%

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Experimental group Ⅰ	试验Ⅱ组 Experimental group Ⅱ	*P* 值 *P*-value
初乳 Colostrum				
天冬氨酸 Asp	1.09±0.09	1.10±0.03	1.07±0.03	0.86
苏氨酸 Thr	0.82±0.07	0.82±0.04	0.79±0.02	0.81
丝氨酸 Ser	0.90±0.09	0.86±0.08	0.81±0.03	0.64
谷氨酸 Glu	2.61±0.12	2.83±0.09	2.61±0.07	0.16
甘氨酸 Gly	0.39±0.03	0.38±0.02	0.36±0.01	0.63
丙氨酸 Ala	0.64±0.05	0.64±0.06	0.62±0.02	0.91
缬氨酸 Val	0.98±0.09	1.00±0.05	0.94±0.03	0.68
蛋氨酸 Met	0.22±0.03	0.24±0.02	0.22±0.01	0.65
异亮氨酸 Ile	0.50±0.05	0.53±0.04	0.49±0.01	0.66
亮氨酸 Leu	1.25±0.11	1.32±0.03	1.24±0.05	0.61
酪氨酸 Tyr	0.68±0.07	0.69±0.07	0.62±0.03	0.61
苯丙氨酸 Phe	0.67±0.07	0.67±0.06	0.64±0.02	0.87
组氨酸 His	0.51±0.04	0.53±0.04	0.49±0.03	0.64
赖氨酸 Lys	0.98±0.09	1.02±0.08	0.93±0.05	0.59
精氨酸 Arg	0.60±0.06	0.61±0.03	0.59±0.02	0.91
脯氨酸 Pro	2.42±0.06	2.68±0.14	2.39±0.07	0.10
总氨基酸 TAA	15.25±0.88	15.93±0.61	14.81±0.38	0.38
限制性氨基酸 LAA	2.02±0.19	2.08±0.13	1.93±0.06	0.63
常乳 Milk				
天冬氨酸 Asp	0.35±0.02	0.39±0.02	0.34±0.01	0.11
苏氨酸 Thr	0.18±0.02	0.22±0.01	0.19±0.01	0.07

丝氨酸 Ser	0.21±0.02	0.24±0.01	0.21±0.01	0.23
谷氨酸 Glu	1.04±0.08	1.13±0.03	1.02±0.04	0.22
甘氨酸 Gly	0.10±0.01	0.11±0.01	0.10±0.01	0.12
丙氨酸 Ala	0.17±0.02	0.18±0.01	0.17±0.01	0.85
缬氨酸 Val	0.25±0.02	0.27±0.01	0.25±0.01	0.29
蛋氨酸 Met	0.10±0.01	0.10±0.01	0.09±0.01	0.10
异亮氨酸 Ile	0.19±0.02	0.22±0.01	0.19±0.01	0.19
亮氨酸 Leu	$0.39±0.03^{ab}$	$0.44±0.01^{a}$	$0.38±0.01^{b}$	0.04
酪氨酸 Tyr	0.19±0.02	0.22±0.01	0.19±0.01	0.15
苯丙氨酸 Phe	0.20±0.02	0.22±0.01	0.20±0.01	0.19
组氨酸 His	$0.18±0.01^{ab}$	$0.20±0.01^{a}$	$0.17±0.01^{b}$	0.05
赖氨酸 Lys	0.36±0.02	0.40±0.01	0.36±0.01	0.10
精氨酸 Arg	$0.17±0.02^{b}$	$0.22±0.01^{a}$	$0.17±0.01^{b}$	0.04
脯氨酸 Pro	$1.02±0.04^{ab}$	$1.10±0.03^{a}$	$0.97±0.04^{b}$	0.04
总氨基酸 TAA	$5.10±0.23^{b}$	$5.67±0.15^{a}$	$5.02±0.16^{b}$	0.03
限制性氨基酸 LAA	$0.64±0.03^{b}$	$0.72±0.02^{a}$	$0.64±0.02^{b}$	0.05

限制性氨基酸为赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸。LAA mean Lys, Met and Thr.

2.4 低聚壳聚糖对母猪血浆生化指标的影响

由表7可知，试验Ⅰ组和Ⅱ组母猪的血浆GPT活性显著低于对照组（P<0.05），试验Ⅱ组的血浆ALP和LDH活性有低于对照组的趋势（0.05≤P<0.10）。各组的血浆TP、ALB、UN含量均无显著差异（P>0.05）。试验Ⅰ组和Ⅱ组的脂肪代谢产物（TG、CHO、HDL、LDL）含量均低于对照组但无显著差异（P>0.05）。

表7 低聚壳聚糖对母猪血浆生化指标的影响

Table 7 Effects of oligo-chitosan on plasma biochemical parameters of sows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Experimental group Ⅰ	试验Ⅱ组 Experimental group Ⅱ	P 值 P-value
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	$45.86±3.10^{a}$	$36.33±2.18^{b}$	$33.75±2.18^{b}$	<0.01

谷草转氨酶 GOT/(U/L)	25.57±1.73	26.50±2.62	21.25±1.87	0.18
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	81.86±3.31	74.33±3.89	66.75±5.12	0.07
总蛋白 TP/(g/L)	78.29±4.18	79.57±5.66	73.25±3.14	0.55
白蛋白 ALB/(g/L)	40.74±2.16	39.13±2.17	37.45±1.51	0.49
尿素氮 UN/(mmol/L)	6.99±0.45	6.59±0.53	6.55±0.31	0.74
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.08±0.39	4.45±0.52	3.88±0.17	0.55
α 淀粉酶 α-AMY/(U/L)	1 574.92±68.32	1 644.02±56.89	1 719.37±60.61	0.28
乳酸脱氢酶 LDH/(U/L)	308.42±14.51	298.76±19.52	260.40±8.70	0.06
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.34±0.03	0.31±0.03	0.30±0.03	0.62
总胆固醇 CHO/(mmol/L)	2.76±0.23	2.35±0.17	2.51±0.10	0.26
高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	1.12±0.10	1.02±0.08	1.03±0.07	0.67
低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	1.36±0.13	1.08±0.10	1.22±0.07	0.20

3 讨 论

3.1 饲粮中添加低聚壳聚糖对母猪繁殖性能的影响

母猪的产程不仅影响窝产活仔数，还影响仔猪出生后的成活率和母猪的利用年限。对母猪而言，产程延长会导致产后出血、产后感染而继发产后炎症，延长母猪的断奶发情间隔，增加母猪下一胎的失配率；对仔猪而言，进入产道而迟迟不产出母体，易发生窒息死亡[16]。研究表明，母猪肠道内若有大量硬粪球占据肠道，会挤压产道空间，不利于仔猪通过；同时便秘引发的痛感会促进阿片样肽的分泌，从而抑制缩宫素的分泌，减少子宫的收缩力量[17]。本试验中，与对照组相比，饲粮中添加低聚壳聚糖能显著缩短母猪的产程，添加50和100 g/t低聚壳聚糖使母猪的产程分别缩短了14.00%和17.69%。分析原因可能是低聚壳聚糖通过改善母猪的肠道微生态平衡，缓解硬粪球挤压产道空间，从而有利于仔猪快速分娩出来。本试验结果也证实了饲粮中添加低聚壳聚糖能改善妊娠后期母猪的便秘情况，这可能是由于低聚壳聚糖抑制肠道病原菌的增殖，从而改善肠道微生态平衡[18]。

采食量对泌乳母猪至关重要，泌乳期采食量低不仅会导致泌乳量降低，影响仔猪的生长发育[19]，而且会导致泌乳期母猪体脂肪损失过多，导致母猪断奶发情间隔延长。本试验中，饲粮中添加50和100 g/t低聚壳聚糖使母猪的哺乳期平均日采食量显著高于对照组，表明添加

低聚壳聚糖提高了母猪的采食量，这对提高母猪的泌乳量和促进仔猪的生长发育是非常有利的。本试验结果也显示，50 g/t低聚壳聚糖组仔猪的初生窝重、7和14日龄窝重均高于对照组。

母猪在哺乳期会动用较多的机体储备来维持泌乳，但过度动用机体储备会导致母猪掉膘严重，影响仔猪增重，造成母猪发情间隔延长和受胎率降低。本试验中，与对照组相比，尽管饲粮中添加100 g/t低聚壳聚糖显著提高了母猪的哺乳期泌乳量，但可能会因为动用机体储备而增加其背膘厚损失；而由于饲粮中添加低聚壳聚糖提高了母猪哺乳期平均日采食量，从而使得母猪的背膘厚损失与对照组相比无显著差异。

3.2　饲粮中添加低聚壳聚糖对母猪泌乳性能的影响

动物的泌乳性能与其繁殖性能密切相关，猪乳的常规营养成分和泌乳量与仔猪的存活率和生长发育有着密切的关系，且对母猪的饲粮配比研究具有重要意义[20-21]。本试验结果表明，饲粮中添加低聚壳聚糖能增加母猪的哺乳期泌乳量和平均日泌乳量，这可能是低聚壳聚糖抑制、清除肠道病原菌和提高母猪免疫力的综合表现。乳糖、乳脂肪和乳蛋白是猪乳中的重要营养成分，其含量的变化直接影响仔猪的生长性能，而猪乳中乳糖和乳蛋白含量往往不随饲粮的改变而变化；初乳和常乳中的乳脂肪主要被新生仔猪用于体脂肪的沉积。本试验中，与对照组相比，饲粮中添加低聚壳聚糖显著增加了母猪初乳中乳脂肪含量，有利于仔猪体脂的沉积和机体的生长发育。研究表明，乳汁中丰富的氨基酸被仔猪用以合成体蛋白质、激素、多胺、嘌呤嘧啶和其他具有生物活性的分子，促进仔猪的生长发育[22]。本试验中，饲粮中添加50 g/t低聚壳聚糖时，母猪常乳中的总氨基酸和限制性氨基酸含量均显著高于对照组，这可能与低聚壳聚糖介导氨基酸在乳腺细胞中的转运机制有关。有关低聚壳聚糖对乳腺氨基酸摄取的影响有待进一步研究。

3.3　饲粮中添加低聚壳聚糖对母猪血浆生化指标的影响

血浆生化指标是反映动物体内某些组织器官机能状态变化和物质代谢的一个重要特征[23]。血浆ALP、GPT和GOT活性通常用来反映肝脏健康状况，血浆TP、ALB、UN含量反映动物体内蛋白质代谢和氨基酸的平衡情况。低聚壳聚糖添加组母猪的血浆GPT活性显著低于对照组，与杨伟丽等[14]在生长育肥猪上的研究结果一致；100 g/t低聚壳聚糖添加组的血浆ALP和LDH活性有低于对照组的趋势。提示低聚壳聚糖有增强机体体液免疫和改善肝脏健康的作用，这可能是因为低聚壳聚糖具有抑菌和杀菌能力，并可激活巨噬细胞和T淋巴细胞，

增强吞噬和杀伤作用[24]，帮助机体抵抗病原菌的感染，增强机体的免疫力，从而保护肝功能。本试验中，各组母猪的血浆TP、ALB、UN含量均无显著差异，提示低聚壳聚糖对妊娠母猪的蛋白质代谢无显著影响。

4 结 论

① 饲粮中添加低聚壳聚糖对母猪的繁殖性能和泌乳性能均有一定的促进作用。低聚壳聚糖通过增加母猪的哺乳期平均日采食量，从而增加母猪的哺乳期泌乳量和仔猪窝重；通过降低母猪的产程从而增加仔猪的健仔数；通过增加母猪初乳中乳脂肪含量从而促进仔猪的健康生长和发育；在一定程度上改善母猪的便秘和降低母猪的背膘厚损失，是一种有效的饲料添加剂。

② 综合本研究结果，50 g/t低聚壳聚糖为母猪饲粮中的最佳添加剂量。

参考文献：

[1] VANNUCCHI C I,JORDAO A A,VANNUCCHI H.Antioxidant compounds and oxidative stress in female dogs during pregnancy[J].Research in Veterinary Science,2007,83(2):188–193.

[2] BERCHIERI-RONCHI C B,KIM S W,ZHAO Y,et al.Oxidative stress status of highly prolific sows during gestation and lactation[J].Animal,2011,5(11):1774–1779.

[3] ZHAO Y,FLOWERS W L,SARAIVA A,et al.Effect of social ranks and gestation housing systems on oxidative stress status,reproductive performance,and immune status of sows[J].Journal of Animal Science,2013,91(12):5848–5858.

[4] 曾林涛.壳低聚糖制备及其生理活性研究[D].硕士学位论文.武汉:华中师范大学,2007:16–23.

[5] 魏新林,夏文水.甲壳低聚糖的特性研究[J].水产科学,2004,23(2):15–19.

[6] ZHOU T X,CHEN Y J,YOO J S,et al.Effects of chitooligosaccharide supplementation on performance,blood characteristics,relative organ weight,and meat quality in broiler chickens[J].Poultry Science,2009,88(3):593–600.

[7] 皮宇,陈青,孙丽莎,等.低聚壳聚糖的生物学活性及其在畜禽生产中的应用[J].饲料博览,2013(12):31–35.

[8] NGUYEN N D,VAN DANG P,LE A Q,et al.Effect of oligochitosan and oligo-beta-glucan supplementation on growth,innate immunity,and disease resistance of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*)[J].Biotechnology and Applied Biochemistry,2017,DOI:10.1002/bab.1513.

[9] 张丽萍,董万福.低聚壳聚糖在断奶仔猪应用的研究进展[J].饲料研究,2016(6):12–15.

[10] 赵颖,乔丽红,吴大伟,等.低聚壳聚糖对蛋鸡脂类代谢及鸡蛋品质的影响[J].粮食与饲料工业,2013,12(1):45–48.

[11] 陈刚耀,唐志刚,温超,等.低聚壳聚糖对生长育肥猪抗氧化性能、脂类代谢和肌肉品质的影响[J].粮食与饲料工业,2012(8):54–57.

[12] 乔丽红,赵颖,倪红玉,等.低聚壳聚糖对断奶仔猪血清生化指标、抗氧化性能和粪便微生物的影响[J].粮食与饲料工业,2013(3):47–50.

[13] 乔恩美,赵云荣,王趁芳,等.低聚壳聚糖对肉仔鸡肌肉发育的影响[J].中国粮油学报,2013,28(9):86–90.

[14] 杨伟丽,胡琴,王春梅,等.低聚壳聚糖和合生元对生长育肥猪生产性能、血清指标及肌肉成分的影响[J].家畜生态学报,2016,37(4):27–31.

[15] LIU Y Y,LI F N,KONG X F,et al.Signaling pathways related to protein synthesis and amino acid concentration in pig skeletal muscles depend on the dietary protein level,genotype and developmental stages[J].PLoS One,2015,10(9):e0138277.

[16] 杨敏,米勇,吴德.影响母猪产程因素的研究进展[J].猪业科学,2015,32(7):108–109.

[17] YOUNGQUIST R S,THRELFALL W R.Current therapy in large animal theriogenology[M].2nd ed.St.Louis,Mo.:Elsevier,2006.

[18] 林丽娟,蔡洁琼,张婷婷,等.低聚壳聚糖对鸡白痢沙门氏菌的体外和体内抑菌效果研究[J].粮食与饲料工业,2012(12):48–50.

[19] CI L,LIU Z Q,GUO J,et al.The influence of maternal dietary fat on the fatty acid composition and lipid metabolism in the subcutaneous fat of progeny pigs[J].Meat Science,2015,108:82–87.

[20] 杜敏清.不同氨基酸水平对泌乳母猪生产成绩、血液指标及乳汁氨基酸浓度的影响[D].

硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2010:13–21.

[21] 王成.母猪日粮中脂肪酸组成对猪乳和血液以及仔猪血液中脂肪酸的组成的影响[J].饲料广角,2012(20):30–33.

[22] FLYNN N E,KNABE D A,MALLICK B K,et al.Postnatal changes of plasma amino acids in suckling pigs[J].Journal of Animal Science,2000,78(9):2369–2375.

[23] LIU Y Y,KONG X F,JIANG G L,et al.Effects of dietary protein/energy ratio on growth performance,carcass trait,meat quality,and plasma metabolites in pigs of different genotypes[J].Journal of Animal Science and Biotechnology,2015,6:36.

[24] 季尧虎,窦华亭,吴厚玖,等.低聚糖抗菌活性的研究进展[J].食品科学,2016,37(13):237–242.

Effects of Oligo-chitosan on Reproduction Performance, Lactation Performance and Plasma Biochemical Parameters of Sows

LIU Yingying[1,2] ZHANG Xing[1,2] REN Huibo[1,2,3] LUO Xuan[1,2] YUAN Xupeng[4] DENG Yuan[1,2,3] PENG Yinglin[1,2,3*]

（1. *Hunan Institute of Animal and Veterinary Sciences, Changsha* 410131, *China*; 2. *Hunan Pig Industry Technology System*, *Changsha* 410131, *China*; 3. *Hunan Co-Innovation Center of Animal Production Safety, Changsha*, 410128, *China; 4. Hunan Xinguang'an Agriculture and Livestock Co., Ltd.*, *Changsha* 410129, *China*）

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of dietary oligo-chitosan on reproduction performance, lactation performance and plasma biochemical parameters of sows. Twenty-four healthy female Yorkshire sows with similar parity, body weight and expected date of childbirth were assigned into 3 groups with 8 replicates per group and 1 sow per replicate. Sows in the control group were fed the basal diet, and the others in the experimental groups Ⅰ and Ⅱ were fed the basal diet supplemented with 50 and 100 g/t oligo-chitosan, respectively. The experiment lasted from the 85th day of pregnancy to the 21st day after delivery. The results showed as follows: 1) compared with the control group, dietary oligo-chitosan significantly increased the

*Corresponding author, professor, E-mail: 13907487646@126.com (责任编辑　李慧英)

healthy piglets per litter and average daily feed intake (ADFI) of lactation of sows ($P<0.05$), significantly decreased the born process time of sows ($P<0.05$), and improved constipation and decreased backfat thickness loss of sows to a certain extent. The birth litter weight of piglets in experimental group Ⅰ was significantly higher than that in the control group ($P<0.05$), and the total milk yield during lactation of sows in experimental group Ⅱ was significantly higher than that in the control group ($P<0.05$). 2) Compared with the control group, the milk fat content in colostrum of sows in experimental groups Ⅰ and Ⅱ was significantly increased ($P<0.05$), and the contents of urea nitrogen (UN) in colostrum and arginine, total amino acids and limiting amino acids in milk in experimental group Ⅰ were significantly increased ($P<0.05$). 3) The activity of glutamic-pyruvic transaminase (GPT) in plasma of sows in experimental groups Ⅰ and Ⅱ was significantly lower than that in the control group ($P<0.05$), and the activities of alkaline phosphatase (ALP) and lactate dehydrogenase (LDH) and the contents of total protein (TP), albumin (ALB), UN, triglyceride (TG), total cholesterol (CHO), high-density lipoprotein (HDL) and low-density lipoprotein (LDL) in plasma had no significant differences among all groups ($P>0.05$). In conclusion, dietary oligo-chitosan can promote the reproduction performance and lactation performance of sows. According to the results of this study, the optimum dosage of oligo-chitosan in diet of sow is 50 g/t.

Key words: oligo-chitosan; sows; reproduction performance; lactation performance; plasma biochemical parameters